

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Návrh a realizace generátoru řídicího napětí pro
testování akčních členů motorových vozidel

Design and Practical Realization of Control Voltage
Generator for Vehicle Actuator Testing

Student :

Lukáš Cáb

Vedoucí bakalářské práce :

Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Cáb

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R007 Automobilová elektronika

Téma:

Návrh a realizace generátoru řídicího napětí pro testování akčních členů motorových vozidel
Design and Practical Realization of Control Voltage Generator for Vehicle Actuator Testing

Zásady pro vypracování:

1. Dle specifikace vedoucího proveďte teoretický návrh laboratorního generátoru řídicího napětí pro testování akčních členů motorových vozidel. Parametry zatížitelnosti a požadavky na ochrany budou specifikovány.
2. Proveďte praktickou realizaci navrženého laboratorního generátoru. Vytvořte jednoduchý uživatelský manuál.
3. Na základě doporučení vedoucího proveďte praktické měření u vybraných typů akčních členů a navrhnete laboratorní úlohu s využitím realizovaného zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
- VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
- ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
- RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
- BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

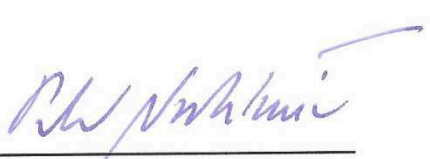
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Noskovič, CSc.
projekt pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 15. Května 2013

.....

Lukáš Cáb

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. Května 2013

.....

Lukáš Cáb

Jméno a příjmení autora práce

Lukáš Cáb

Adresa trvalého bydliště autora

Komenského 488
742 01 Suchdol nad Odrou

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za věcné informace poskytnuté při tvorbě této práce a jeho čas strávený při radách a odborných konzultacích. Poděkování také patří mé rodině a přítelkyni za toleranci vůči mně během doby tvorby této práce.

Anotace

CÁB, L.: *Návrh a realizace generátoru řídicího napětí pro testování akčních členů motorových vozidel*. Ostrava 2013. 43 stránek. Bakalářská práce. VŠB Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá rozбором komponent pro řízení spalovacích motorů s hlavním zaměřením na akční členy řízené pulzním napětím. Teoretická část je zaměřena na obecný popis jednotlivých součástí pro elektronické řízení motoru a podrobněji popsání jednotlivé akční členy řízené PWM. V další části je rozebrán návrh na realizaci laboratorního generátoru pro řízení takových to akčních členů. Následuje podrobný popis praktické realizace generátoru. Poslední kapitola pojednává o experimentálním ověření pulzního generátoru na různých typech pulsně řízených akčních členů. K práci je přiložena vypracovaná laboratorní úloha s využitím realizovaného generátoru a stručný návod na použití a obsluhu generátoru.

Annotation

CÁB, L.: *Design and Practical Realization of Control Voltage Generator for Vehicle Actuator Testing*. Ostrava 2013. 43 pages. Bachelor thesis. VŠB – Technical University of Ostrava. Thesis head Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Bachelor thesis focuses on the analysis component for managing internal combustion engine with a primary focus on the actuators controlled pulse voltage. The theoretical part focuses on a general description of the components for the electronic engine management and detailed description of the individual actuators controlled by PWM. The next part is analyzed for the realization of the laboratory generator control such that the actuators. The following is a detailed description of the practical implementation of the generator. The last chapter deals with the experimental verification of the pulse generator to the different types of pulse-controlled actuators. The work is accompanied developed laboratory task implemented using a generator and a brief guide to the use and operation of the generator.

Klíčová slova

Akční člen, generátor, PWM, řídicí napětí

Seznam použitých symbolů a zkratek

AČ	Akční člen
AGR	Recirkulace výfukových plynů
CAN	Komunikační sběrnice v automobilu
DPS	Deska plošných spojů
EEC V	Typ řídicí jednotky automobilky Ford
EGR	Recirkulace výfukových plynů
FSA	Motortester BOSCH
INTERCOOLER	Chladič stlačeného vzduchu
KTS	Sériová diagnostika BOSCH
PWM	Pulsně šířková modulace
ŘJ	Řídicí jednotka
SMD	Součástky pro plošnou montáž
VCT	Variabilní časování vačkové hřídele

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Rozbor komponent pro elektronické řízení spalovacích motorů	10
2.1	Druhy vybraných snímaných veličin u spalovacích motorů.....	11
2.2	Elektronická řídicí jednotka motoru	12
2.3	Akční členy	14
2.4	Akční členy ovládané PWM.....	14
3	Návrh laboratorního generátoru	19
3.1	Důvod návrhu	19
3.2	Požadavky na generátor	20
3.3	Vlastní návrh.....	22
3.4	Konstrukční návrh.....	26
4	Praktická realizace	27
4.1	Programování procesoru	27
4.2	Obvodová realizace.....	28
4.3	Výroba DPS	29
4.4	Oživení generátoru.....	31
4.5	Konstrukční provedení.....	32
5	Experimentální ověření	34
5.1	Ověření na proporcionálním ventilu pro ovládání turbodmychadla	34
5.2	Ověření na volnoběžném ventilu	38
6	Závěr	41
	Seznam literatury.....	42
	Seznam příloh.....	43

1 Úvod

U prvních automobilů se spalovacími motory, které vznikaly v druhé polovině 19. století, byly veškeré vazby pro řízení a ovládání motoru i vozidla mechanické. Celý automobil se ovládal přes táhla, vačky, páky a převody. Všechny takové mechanizmy ve vozidle podléhaly značnému opotřebení, ať už z důvodu nepřesné výroby, ale hlavně kvůli tření dílů mezi sebou při vzájemném pohybu. Elektroinstalace v takovém vozidle byla nulová. Jednalo se čistě o mechanický subsystém.

S následným vývojem v oblasti elektro a rostoucími požadavky na automobily, hlavně z pohledu bezpečnosti, hospodárnosti, jízdního komfortu a ohleduplnosti na životní prostředí, se začala elektrotechnika a později i elektronika nasazovat do automobilů.

Spousta mechanických vazeb v automobilu se nahradila vazbou elektrickou. Realizace elektrické vazby je následující, na jedné straně máme signál ze snímače, který zpracuje a vyhodnotí řídicí jednotka a pošle signál do akčního členu a ten provede akční zásah. K řízení akčního členu vede pouze elektrické vedení a jeho výstup může být mechanického charakteru (natočení, posunutí), hydraulického (otevření ventilu, změna tlaku) a pneumatického (otevření ventilu, změna tlaku). Nahrazování mechanických vazeb elektrickými se říká „X-BY-WIRE“ je to trend poslední doby. Vede to k zmenšování zastavěných prostor a větší variabilitě vozidla. Tímto je kladen čím dál větší důraz na spolehlivost elektroniky ve vozidle. V tomto stadiu vývoje automobilů se už bavíme o subsystému mechatronickém a ne pouze mechanickém jako tomu bylo na počátku.

Rozšíření elektroniky v automobilu zasáhlo všechny komponenty. Dále se budeme zabývat hlavně komponenty spojené s řízením spalovacích motorů. U dnešních spalovacích motorů, je v jedné vteřině zpracováváno tolik informací o motoru a jeho okolí, že čistě mechanický systém by na to svou dynamikou nestačil a proto na snímání takových rychlých dějů je čím dál více nasazována elektronika. Navíc elektronika přebírá spoustu úkonů spojených s řízením motoru za řidiče, aby se mohl plně věnovat vnímání okolí a řízení vozu. Dochází k odlehčení lidské práce spojené s řízením vozu.

2 Rozbor komponent pro elektronické řízení spalovacích motorů

V současné době, kdy neustále rostou požadavky na bezpečnost, hospodárnost, ekologii a jízdní komfort, stále více se využívá elektroniky k řízení motoru a celého vozidla.

Model řízení moderního spalovacího motoru se skládá ze tří částí. Na jedné straně máme hodnoty ze snímačů a čidel požadovaných hodnot, které měří veličiny potřebné pro chod motoru. Tyto hodnoty zpracovává elektronická řídicí jednotka, pomocí předem definovaných matematických operací a řídicího programu, neustále tyto hodnoty kontroluje a porovnává z důvodu diagnostiky. Výstupní signály z řídicí jednotky působí na akční členy.

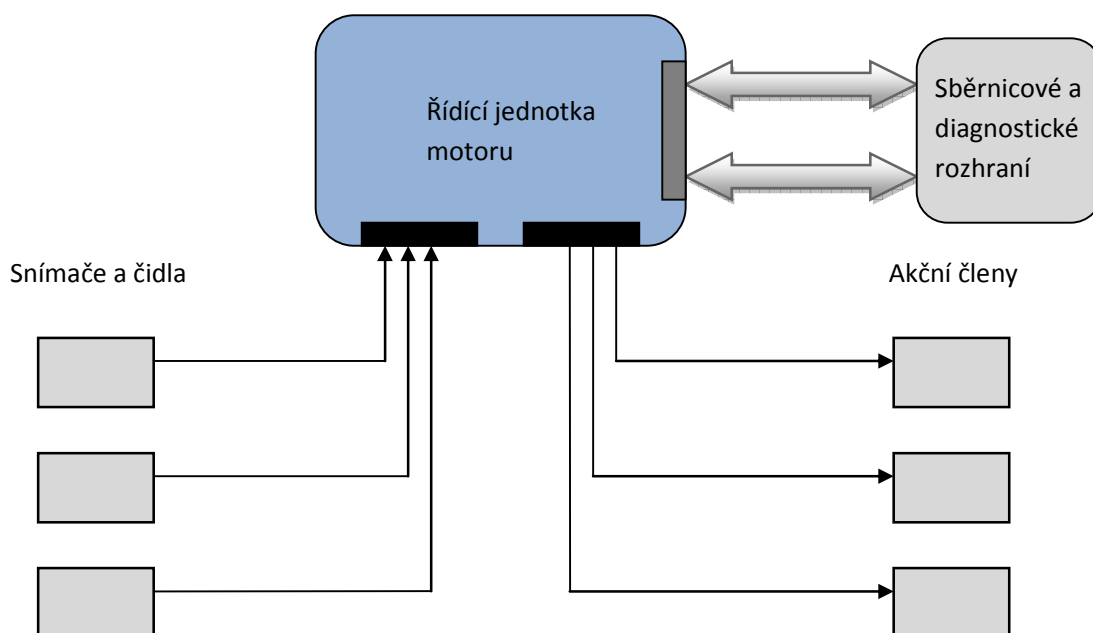
Typy signálů jdoucích z/do řídicí jednotky motoru

VSTUPNÍ

- Analogové
- Číslicové
- Impulzní
- Skokové (zapnuto/vypnuto)

VÝSTUPNÍ

- Analogové
- Číslicové
- Pulzní
- Skokové (zapnuto/vypnuto)



Obr. 1 Model elektronického řízení motoru

2.1 Druhy vybraných snímaných veličin u spalovacích motorů

VZNĚTOVÝ

ZÁŽEHOVÝ

1. Příprava paliva

- Teplota paliva
- Průtok paliva
- Tlak v zásobníku
- Množství v nádrži

- Teplota paliva
- Průtok paliva
- Tlak v zásobníku
- Množství v nádrži

2. Doprava vzduchu

- Teplota nasávaného vzduchu
- Množství nasávaného vzduchu
- Atmosférický tlak
- Plnicí tlak

- Teplota nasávaného vzduchu
- Množství nasávaného vzduchu
- Atmosférický tlak
- Plnicí tlak

3. Odvod spalin

- Teplota spalin
- Obsah kyslíku ve spalinách
- Množství recirkulovaných plynů
- Tlak ve výfukovém potrubí

- Teplota spalin
- Obsah kyslíku ve spalinách
- Množství recirkulovaných plynů
- Tlak ve výfukovém potrubí

4. Veličiny měřené na motoru a převodovce

- Teplota motoru (voda, olej)
- Poloha klikové hřídele
- Poloha vačkové hřídele
- Rychlost vozidla
- Rychlostní stupeň

- Teplota motoru (voda, olej)
- Poloha klikové hřídele
- Poloha vačkové hřídele
- Rychlost vozidla
- Rychlostní stupeň
- Úhel zážehu
- Klepaní motoru

5. Veličiny měřené na vozidle

- Příčné a podélné zrychlení
- Skluz na kolech
- Rychlost vozidla
- Příčné a podélné zrychlení
- Skluz na kolech
- Rychlost vozidla

2.2 Elektronická řídicí jednotka motoru

Řídicí jednotka přijímá elektrické signály ze snímačů, vyhodnocuje je a vypočítává parametry signálů pro buzení akčních členů. Řídicí program (software) je uložen v paměti ŘJ. Provádění programu přebírá mikrokontrolér. Jednotlivé části řídicí jednotky jsou označovány jako hardware.

Požadavky na řídicí jednotky.

- Extremní okolní teploty (-40 až +125 °C)
- Působení provozních kapalin
- Okolní vlhkost
- Vibrace
- Velké nároky na elektromagnetickou kompatibilitu

2.2.1 Zpracování signálů

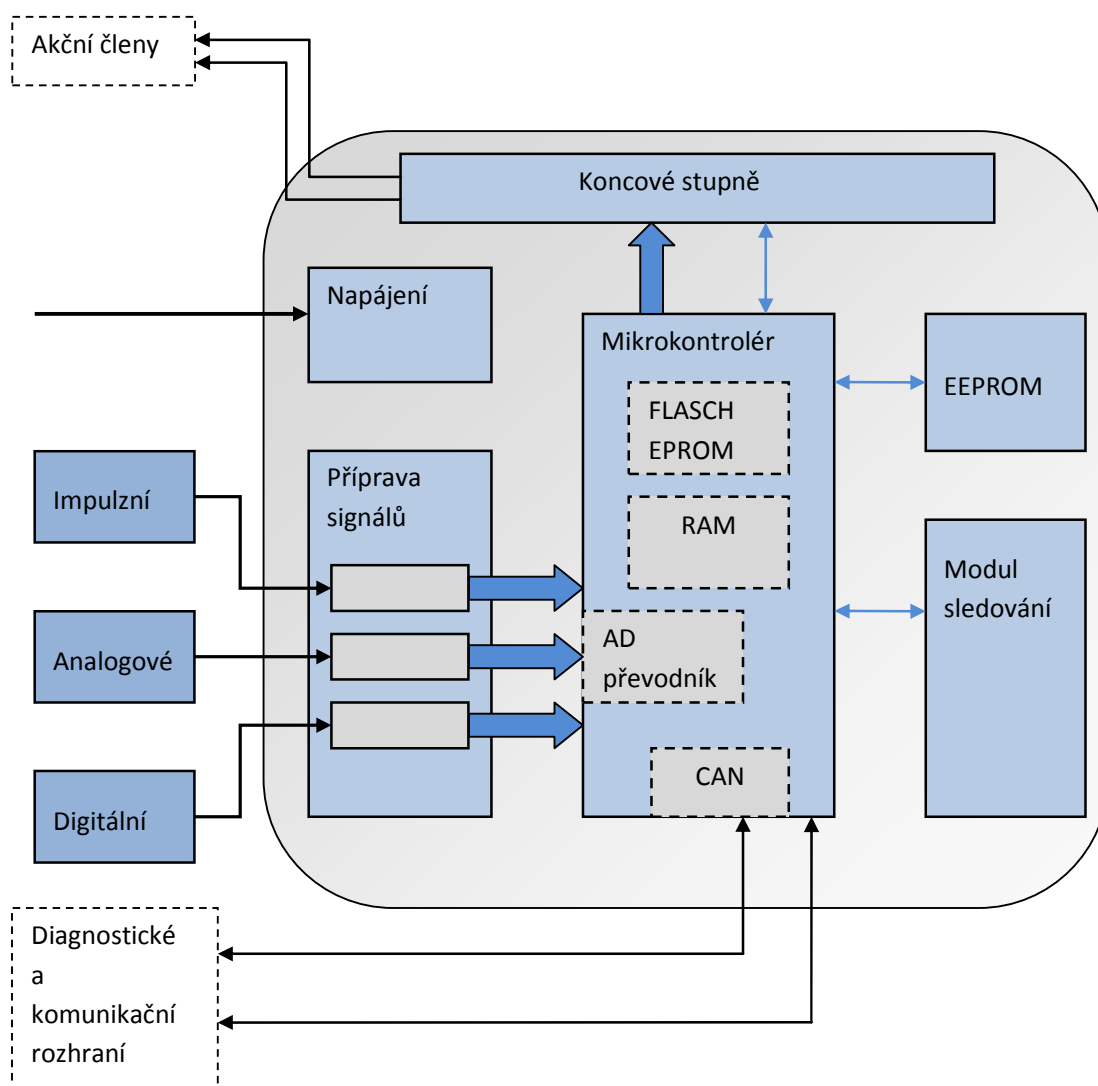
1. Analogové vstupní signály – nabývají jakoukoliv hodnotu v určitém rozsahu napětí. Jako analogovou hodnotu získáváme například hmotnost nasávaného vzduchu, napětí baterie, tlak v sacím potrubí, teplotu vzduchu. Signály jsou v AD převodníku převedeny na digitální hodnotu a následně použity k výpočtům. Maximální rozlišení je 5 mV na bit.
2. Digitální vstupní signály – mají dva stavy log 1 a log 0. Příkladem digitálních signálů jsou signály od spínačů (zapnuto/vypnuto), nebo impulzy z Hallových snímačů otáček. Tyto signály jsou mikrokontrolérem zpracovány přímo.
3. Impulsní vstupní signály – vstupní signály ve tvaru impulsů z indukčních snímačů s informací o otáčkách a vztažné značce. Tyto signály vstupují do samostatné části obvodů, dochází k potlačení rušivých signálů a ke tvarování impulsního signálu na digitální obdélníkový signál.

2.2.2 Výkonový stupeň

Prvky výkonového stupně jsou součástí řídicí jednotky a jako jediné součástky v celé jednotce nemusejí být typu smd. Bývají pomocí teplovodivé pasty a mechanického spojení připevněny k hliníkovému tělu jednotky a využívají jej jako chladič.

Signály řídicí výkonový stupeň jdou přímo z mikrokontroléru podle vykonávaného programu. A výstup z výkonového stupně je pomocí konektorů a kabelového svazku spojen s akčními členy. V současné době umí řídicí jednotka diagnostikovat jak vadný akční člen tak i poruchu na výkonovém stupni.

Dále jednotka obsahuje spoustu dalších obvodů pro analýzu správnosti signálů a sledování výpočtů a vlastní diagnostiku, tyto obvody v této práci, ale nebudou rozebírány. Jsou nad rámec této práce a jejich popis je obsáhlý.



Obr. 2 Blokové schéma zapojení řídicí jednotky [2]

2.3 Akční členy

Jsou to v podstatě převodníky vstupní elektrické veličiny na výstupní veličinu například mechanickou (posunutí ventilu, nastavení klapky ...).

Vybrané akční členy v automobilu.

1. Spojené s řízením motoru (vznětový i zážehový motor).

- Vyhřívací člen lambda sondy
- Volnoběžný ventil
- Elektronická škrtkící klapka
- Vířivé klapky v sání
- Palivové čerpadlo
- Vstřikovací ventily
- Ventil recirkulace spalin (EGR)
- Regulátor tlaku přeplňování
- Žhavicí svíčky
- Svíčky vznětového motoru
- Ventilátor na chladiči

2. Ostatní akční členy v automobilu.

- Servomotory centrálního zamykání
- Servomotory stahování oken
- Nastavovače klapek ve vytápěcím systému vozidla
- Klima kompresor
- Vyhřívání skel
- Atd ...

Z výše uvedeného zkráceného seznamu akčních členů v automobilu je vidět, že jich je velké množství, dále budou rozebrány jen některé členy spojeny s řízením motoru a ovládány pulsním napětím.

2.4 Akční členy ovládané PWM

Modulace šířkou impulsů

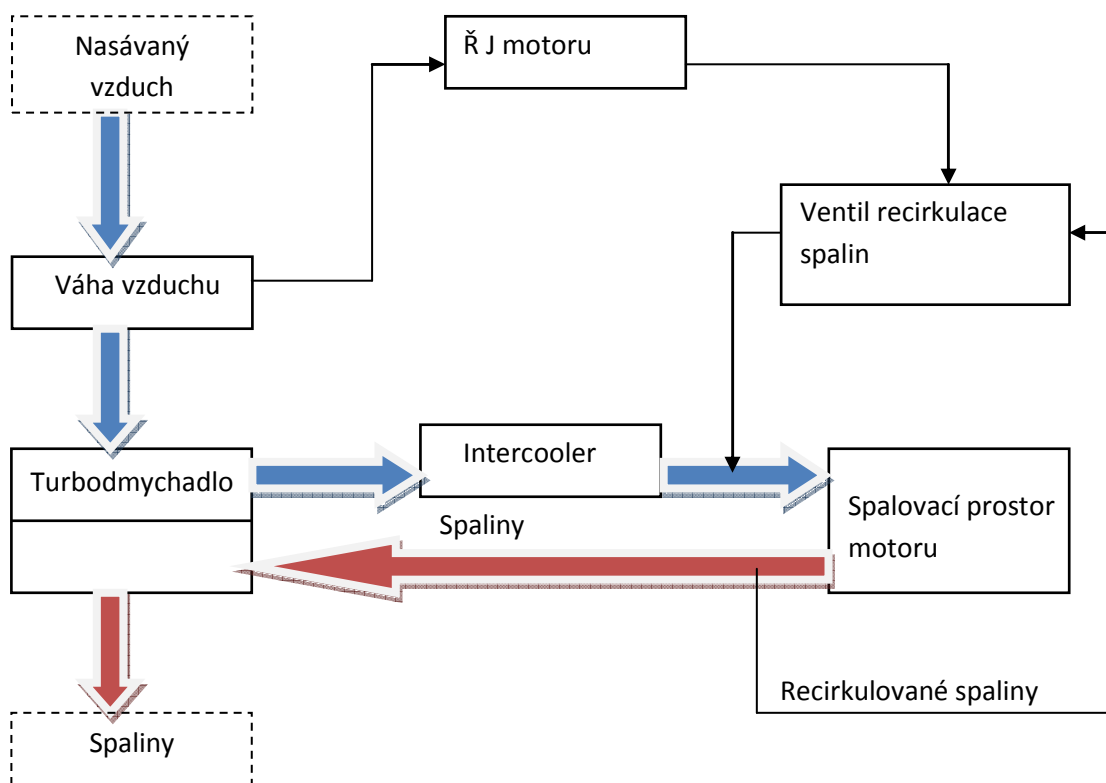
Některé akční členy však vyžadují variabilní řízení, přičemž výstupní signál kontrolovaný ve tvaru modulaci šířkou impulsů (PWM = Pulse Width Modulation) je

zapínán a vypínán. Šířkou impulsu se rozumí trvání impulsu zapnutého výstupního signálu (např. napětového signálu).[1]

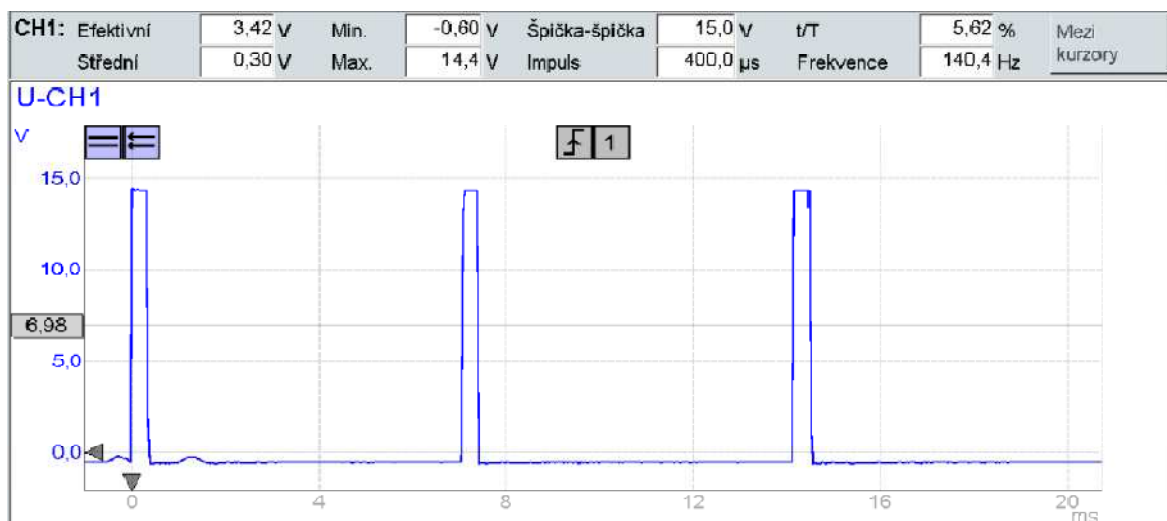
2.4.1 Ovládání recirkulace výfukových plynů (AGR, EGR)

Úkolem recirkulace spalín je snížení emisí oxidu dusíku (NO_x) ve výfukových plynech. Emise oxidu dusíku vzrůstá s rostoucími spalovacími teplotami, které jsou zejména u motorů s přímým vstřikem velmi vysoké. Pokud je část výfukových zplodin smíchána s nasávaným čerstvým vzduchem dochází ke snížení obsahu kyslíku v nasávaném vzduchu a tím ke snížení spalovacích teplot.[2]

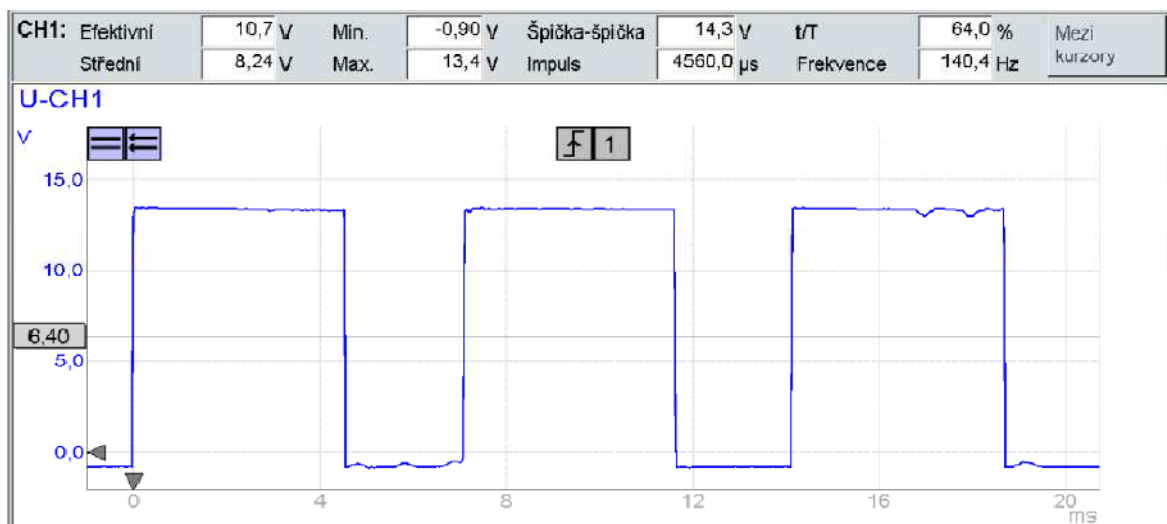
Aby tato recirkulace byla realizována s maximální dynamikou, musí být elektronicky regulována a jako prostředek pro regulaci se využívá elektropneumatický převodník.



Obr. 3 Blokové schéma recirkulace výfukových spalín



Obr. 4 Signál do EGR ventilu při ustáleném volnoběhu



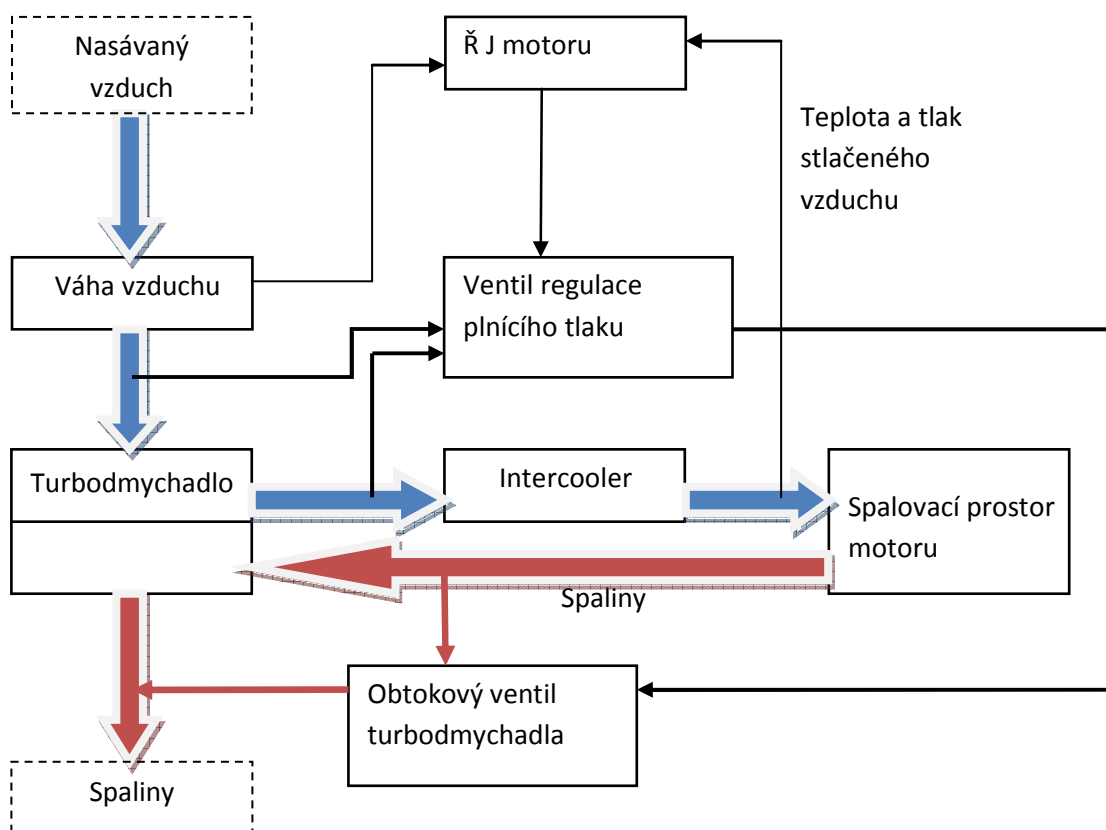
Obr. 5 Signál do EGR ventilu při plynulé jízdě

2.4.2 Regulace plnicího tlaku

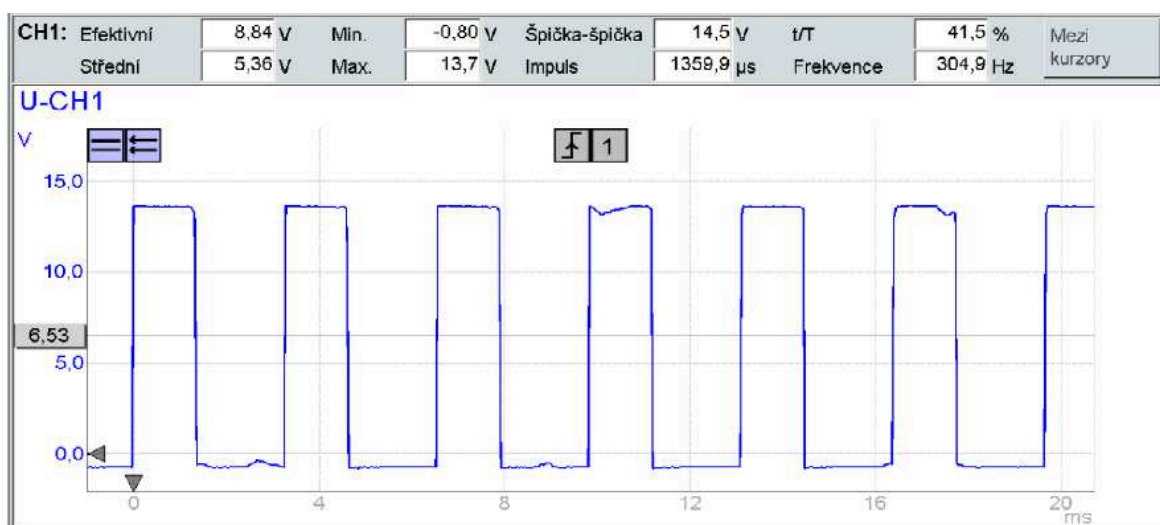
Výkonové parametry vznětového turbomotoru v celém rozsahu otáček a zatížení významně ovlivňuje hodnota plnicího tlaku vzduchu. Aby vznětový turbomotor dosahoval požadovaných výkonových parametrů v celém rozsahu otáček a zatížení je potřeba hodnotu plnicího tlaku vzduchu regulovat.[2]

Elektromagnetický řídicí ventil je ovládán pwm signálem a podle středy signálu je regulován podtlak v ovládacím potrubí a ním dané poměrné otevření ventilu.

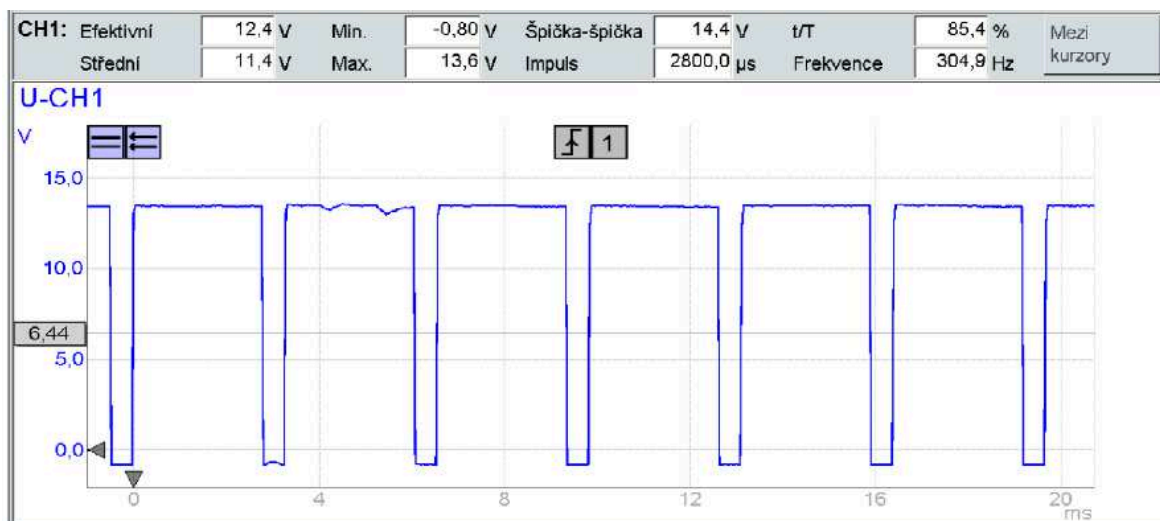
U řízení otáček turbodmychadla se využívají dvě technologie turbodmychadlo s obtokovým ventilem (Wastegate), nebo turbodmychadlo s variabilní geometrií turbíny (VTG). Obě varianty používají elektropneumatický převodník řízený pwm.



Obr. 6 Blokové schéma regulace plnicího tlaku s obtokovým ventilem



Obr. 7 Signál do ovládacího ventilu turba při volnoběhu



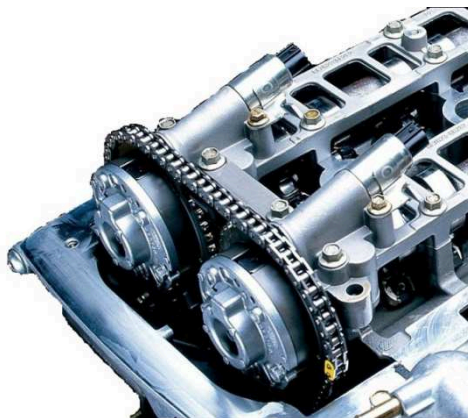
Obr. 8 Signál do ovládacího ventilu turba při vysokém zatížení

2.4.3 Přestavovací jednotka elektromagnetického ventilu VCT

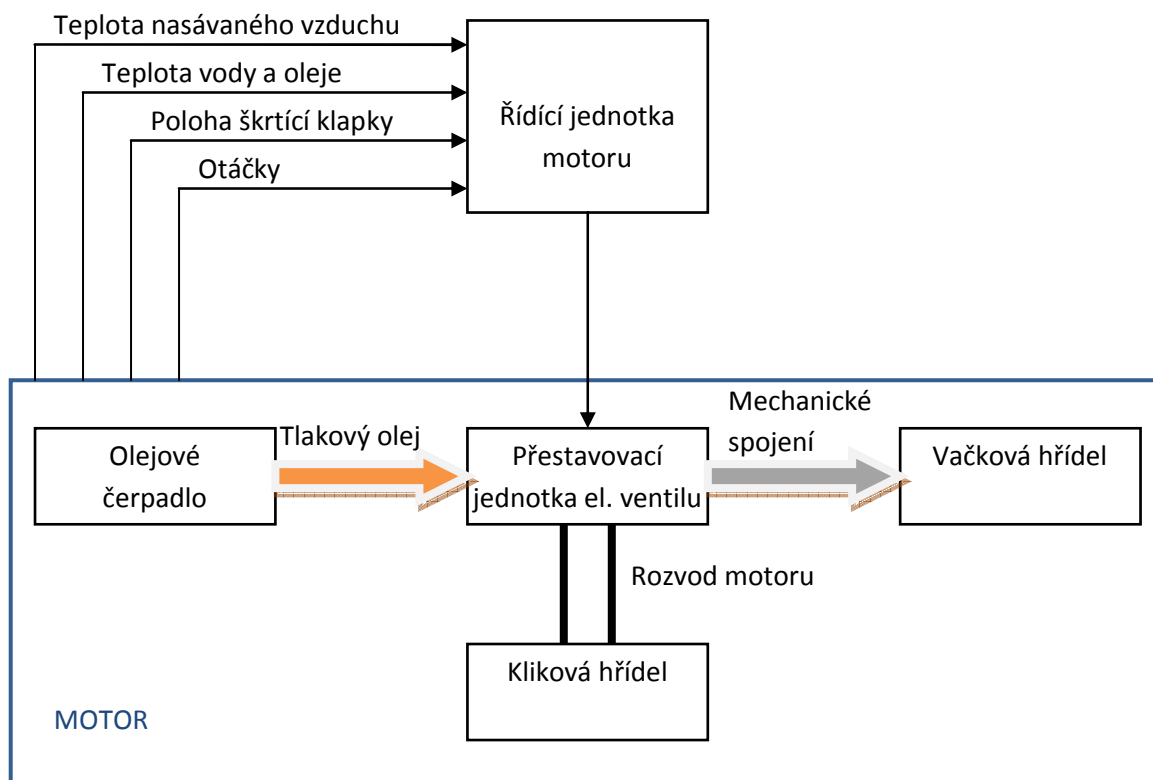
Zde bude popsán systém pro nastavování vačkového hřídele ve vozidlech Ford s typem řídicí jednotky EEC V. Obdobný způsob je využíván i v jiných typech vozidel.

Elektromagnetický ventil řídí tlak oleje v přestavovací jednotce VCT (Variable Camshaft Timing = variabilní nastavení vačkového hřídele) v závislosti na okamžitém provozním stavu motoru, aby se dosáhl požadovaný úhel přestavení vačkového hřídele. Ventil je variabilně řízen modulem EEC V-PCM pomocí modulace šířkou impulsů (PWM-signal).[1]

Elektromagnetický ventil je umístěn v blízkosti ozubeného kola na vačkové hřídeli. Přestavovací člen je součástí ozubeného kola na vačkové hřídeli a mění natočení vačkové hřídele ke klikové.



Obr. 9 Ukázka ventilů pro VCT systém [4]



Obr. 10 Blokové schéma zapojení VCT systému

Všechny další kapitoly se již budou věnovat konstrukci generátoru pro testování výše popsaných akčních členů. Bude popsáno vše od návrhu až po realizaci a ověření generátoru.

3 Návrh laboratorního generátoru

Pro potřeby diagnostiky a hledání závad v současných automobilech. I pro použití v reverzním inženýrství. Byl dán návrh na realizaci pulsního generátoru pro široké použití.

Generátor bude sloužit v laboratorních podmínkách a jeho využití bude hlavně k ovládání akčních členů v automobilu.

3.1 Důvod návrhu

Současná sériová diagnostika neumožňuje, při testování akčních členů, jakkoliv definovat budící signál akčního členu, vystupující z řídicí jednotky, během kontroly jeho

funkčnosti a správnosti chování. Navíc testy při nenastartovaném motoru, nastartovaném motoru (volnoběh) i v dynamických podmínkách (zatížení), jsou velmi omezené.

Vznikl požadavek na návrh laboratorního generátoru, který bude mít výstupní signál pulsně šířkově modulovatelný, jak v oblasti frekvence tak i střídy a navíc výkonově zatížitelný.

Hlavní funkcí generátoru bude posílat signál do akčních členů, takový aby při testování byl využit celý rozsah členu. Dosáhnout tohoto při ovládání členu řídicí jednotkou je ve většině případů složité, nebo úplně nemožné. Ať už z důvodu nevyužívání celého rozsahu akčního členu, nebo velice krátkodobých stavů např. plného zatížení motoru, kterého se těžce dosahuje po delší dobu.

Generátor bude využíván i pro potřeby reverzního inženýrství ve školní laboratoři, při podrobném zkoumání funkcí jednotlivých akčních členů a jejich vliv na celkové chování motoru popř. automobilu. Informace jako převodní charakteristiky a podrobně popsané chování akčních členů a jejich vliv na chování motoru, jsou automobilkami zatajovány. Přitom v současných automobilech se při hledání závad a následném jejich odstraňování se bez takových informací neobejdeme. A proto nezbývá než si to experimentálně ověřit v laboratorních podmínkách a jednou z možností pro získání takových informací může být navrhovaný generátor.

3.2 Požadavky na generátor

Seznam základních požadavků na generátor.

- Využití napájení z palubní sítě, nebo z externího zdroje s požadovanými parametry
- Ochrana proti přetížení
- Ochrana proti přepólování na vstupu
- Ochrana proti zkratu na výstupu
- Výstupní PWM signál s měnitelnou střídou i frekvencí
- Rozsah frekvence 5 Hz až 2 kHz
- Rozsah střídy 5% až 95%
- Jednoduché nastavení frekvence a střídy
- Indikace stavu
- Univerzální konektory pro vstup i výstup
- Odolné a kompaktní provedení

Nyní budou výše uvedené požadavky podrobněji popsány a odůvodněny.

Využití napájení z palubní sítě, nebo z externího zdroje s požadovanými parametry. Pro co nejjednodušší konstrukci zařízení a kompaktnost jeho rozměru zařízení nebude obsahovat vlastní napájecí zdroj. Bude využívat jako napájecí napětí palubní síť automobilu, přičemž rozsah napětí může být 8 až 15 voltů. Dále pro napájení může být použit automobilový akumulátor, nebo zdroj se jmenovitým napětím 12 V a příslušným proudovým zatížením.

Ochrana proti přetížení. Zařízení by mělo obsahovat prvky ochrany proti proudovému přetížení, aby například nadměrným proudem nedošlo k poškození zařízení, ale aby tento proud byl detekován a bylo zabráněno jeho nárůstu nad maximální stanovenou mez.

Ochrana proti přepólování na vstupu. Zařízení nesmí poškodit jakékoliv prohození napájecích vodičů.

Ochrana proti zkratu na výstupu. Pokud dojde k připojení zkratovaného, či jinak poškozeného zařízení na výstup generátoru, musí být vnitřní elektronické obvodu tomu přizpůsobeny a odolat takovému chybovému stavu a případně to i názorně indikovat.

Výstupní PWM signál s měnitelnou střídou i frekvencí. Aby generátor mohl být použit na široké spektrum pulsně řízených akčních členů automobilu, musí být jeho frekvenční rozsah stavitelný v rozmezí 5 – 2000 Hz a možnost plynulého nastavení střídou v rozmezí 5 – 95 %. S tímto úzce souvisí způsob nastavování požadované frekvence a střídou signálu. Měl by být co nejjednodušší a jasně daný. Orientační hodnota střídou a frekvence by měla být jasná po letmém pohledu na zařízení.

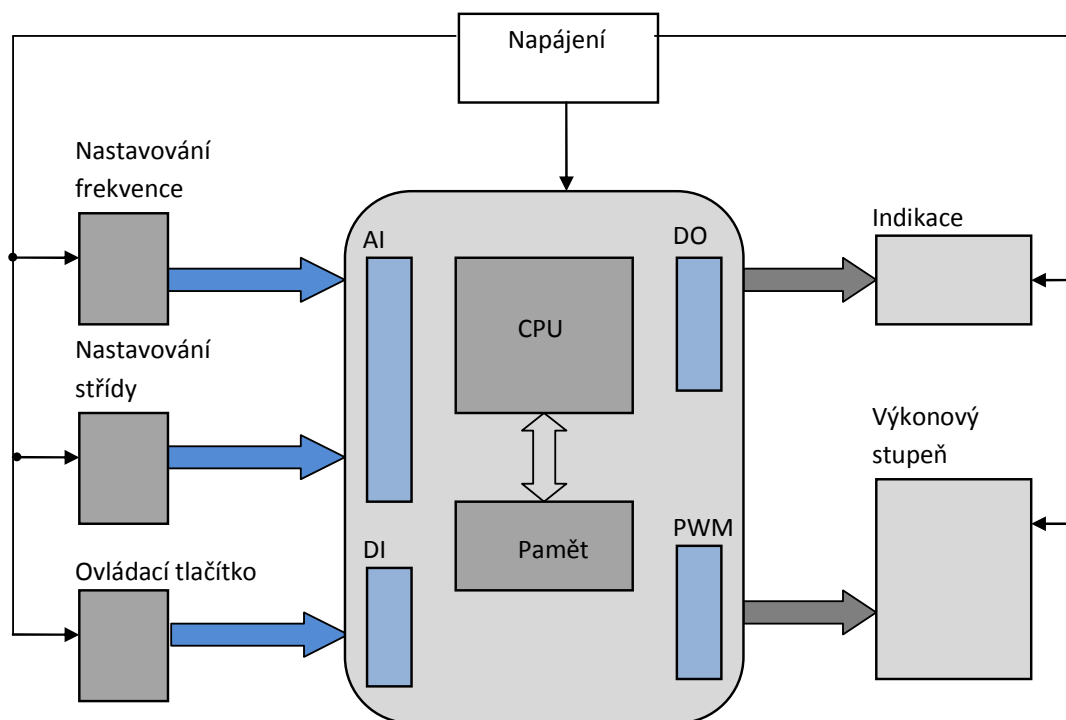
Indikace stavu. Vhodným způsobem obstarat zobrazovací rozhraní, aby bylo patrné, v jakém stavu se právě nachází. Indikovat připravenost, probíhající funkci, chybu a přetížení.

Univerzální konektory pro vstup i výstup. Pro připojení vstupních a výstupních vodičů použít vhodné konektory které budou splňovat požadavky na protékající proud a napětí. Snadná připojitelnost a dostupnost. Minimální opotřebení při neustálém znovu připojování. Jednoduché propojení s měřicími přístroji atp.

Odolné a kompaktní provedení. Všechny komponenty zapouzdřit do jednoho boxu a systematicky rozmístit ovládací, indikační, vstupní a výstupní prvky. Jako nejvhodnější využít sériově vyráběné plastové krabičky ve vhodných rozměrech.

3.3 Vlastní návrh

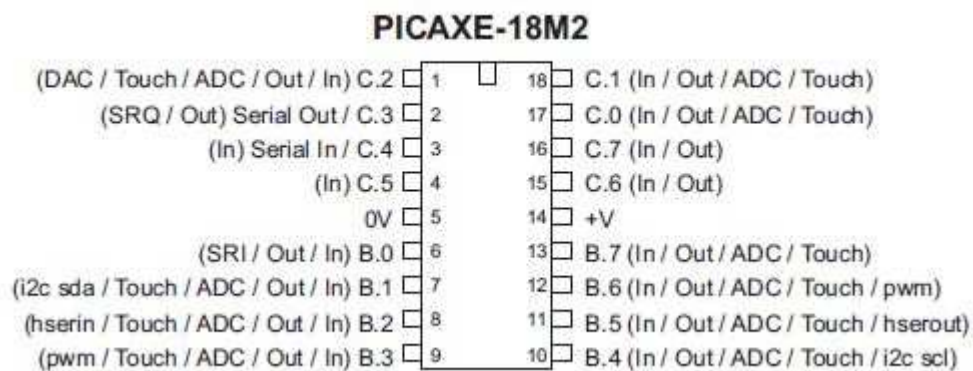
Celý generátor bude postaven na mikrokontroléru PICAXE 18M2 od firmy Microchip.



Obr. 11 Blokové schéma návrhu generátoru

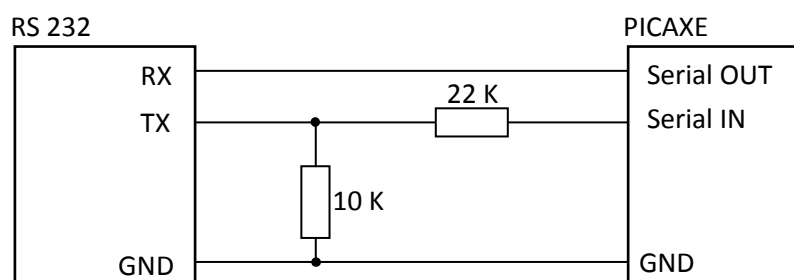
Mikroprocesor PICAXE 18M2 je standardní PIC mikrokontrolér, který je předprogramován tzv. *bootstrap firmware code*, což z něj dělá velice snadno programovatelný mikrokontrolér. [3]

- Rozsah napájecího napětí 1,8 – 5,5 V
- FLASH pamět 2048 bajtů
- RAM pamět 256 bajtů
- 4 paralelně běžící úlohy
- Maximální taktovací kmitočet 32 MHz
- 16 programovatelných vstupů / výstupů
- 10 AD / DA převodníků
- Pouzdro DIL 18

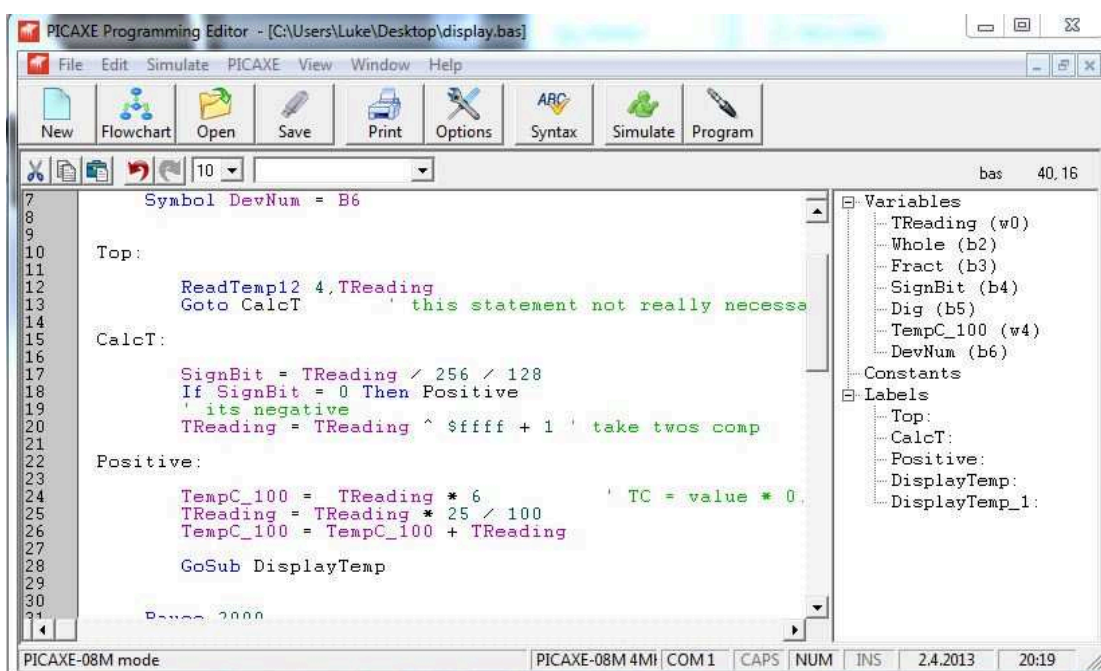


Obr. 12 Mikroprocesor PICAXE 18M2 [3]

Programování procesoru probíhá ve vývojovém prostředí PICAXE Programming Editor v jazyku Basic. Kompilace a následné nahrání kódu do mikroprocesoru, probíhá také v tomto programu.



Obr. 13 Propojení procesoru s PC při programování



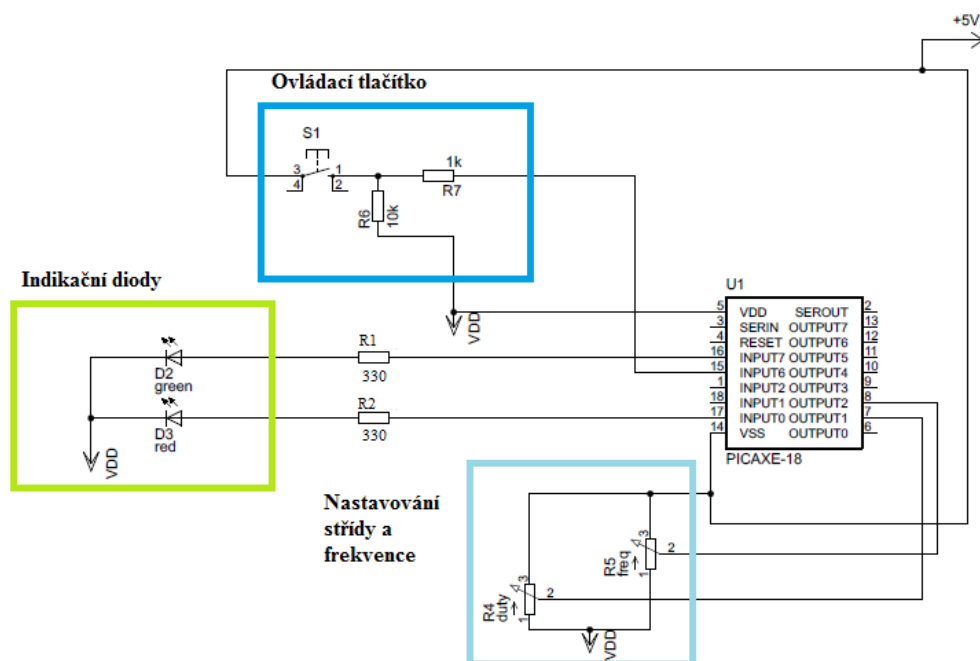
Obr. 14 Ukázka programovacího prostředí

Nastavovací a indikační prvky. Jako **nastavovací prvky** pro změnu frekvence a střídý jsou navrženy potenciometry. Pro frekvenci logaritmický z důvodu stejného rozsahu frekvencí ve všech řádech. A ladění střídý probíhá pomocí lineárního potenciometru.

Odporová dráha potenciometru je zapojená paralelně ke stabilizovanému napětí + 5V a snímací člen na dráze je zapojen na vstupní pin AD převodníku integrovaného v mikroprocesoru.

Další nastavovací prvek je multifunkční tlačítko. Bude sloužit k přepínání režimů a vypínání poruchovým stavů.

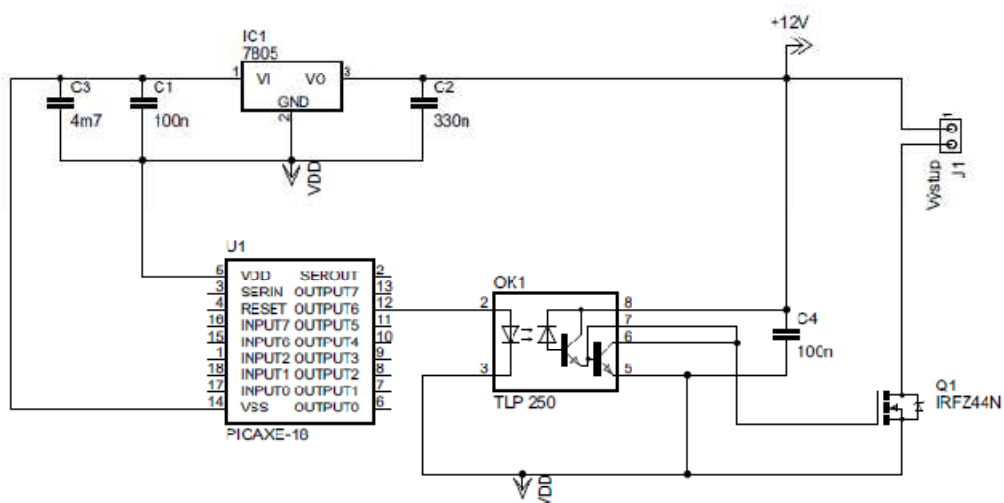
Pro indikaci jsou použity svítivé diody v červené a zelené barvě. Budou signalizovat připravenost zařízení a aktuální provozní stav. Diody jsou připojeny do série s předřadným odporem přímo na výstupní digitální pin mikroprocesoru. Velikost odporu je zvolena na 330 Ω .



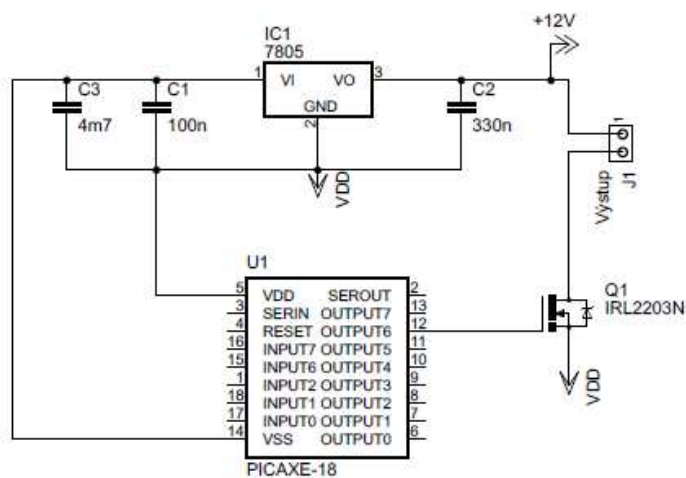
Obr. 15 Návrh ovládací a indikační části

Pro **výkonový stupeň** byly udělány dva návrhy. V prvním případě byla řídicí a výkonová část galvanicky oddělena pomocí optického budiče MOSFET tranzistorů, obvodu TLP 250 a tranzistoru IFRZ44N. Druhé řešení je podstatně jednodušší, ale

nenabízí galvanické oddělení. Využívá výkonový tranzistor IRL2203N, který můžeme budít signály v úrovni TTL a proto je brána tranzistoru přímo spojena s PWM výstupem mikroprocesoru.



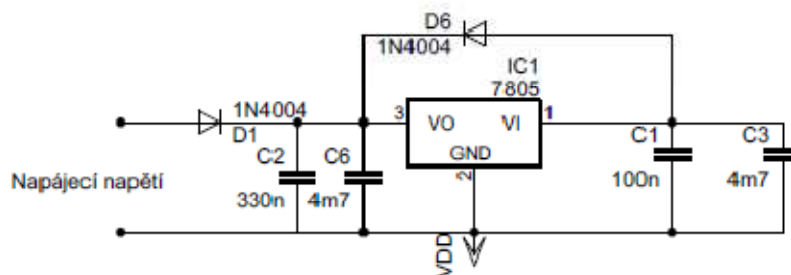
Obr. 16 Schéma výkonové části s galvanickým oddělením



Obr. 17 Schéma výkonové části bez galvanického oddělení

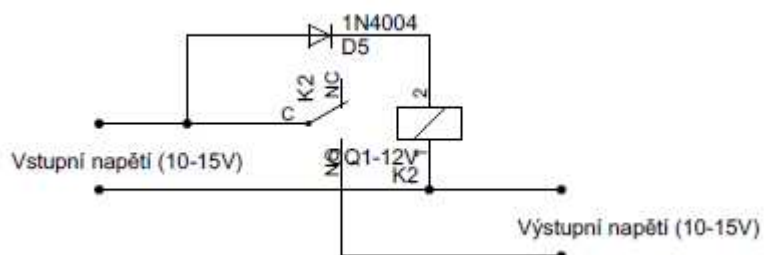
Pomocné obvody v zařízení, mezi ně patří stabilizátor napětí 5 V, který napájí mikroprocesor a jeho periferie. Obvod zabraňující poškození zařízení při přepólování vstupního napětí.

Pro úpravu a stabilizaci napájecího napětí mikroprocesoru je použit stabilizátor 7805 s filtračními kondenzátory a ochrannými diodami. Kondenzátory C1 a C2 slouží jako filtrační C3 a C6 jsou vyrovnávací.



Obr. 18 Zapojení stabilizátoru napájecího napětí +5 V

Ochranný obvod proti přepólování využívá relé, u kterého je zapojená do série usměrňovací dioda se spínací cívkou. Když dojde k prohození napájecích svorek dioda nepustí proud do cívky a relé nesepe.



Obr. 19 Ochranný obvod proti přepólování na vstupu

3.4 Konstrukční návrh

S ohledem na počet a velikost navrhovaných součástek, byla navrhnutá na zapouzďení generátoru polykarbonátová krabička s označením GW44 205 a rozměry 120 x 80 x 50mm a krytím IP 56. V programu SolidWorks, byl vypracován 3D model generátoru.



Obr. 20 Vzhled navrhnutého generátoru

Následující část se věnuje propojení a oživení navrhovaných částí a kompletnímu ověření spolupráce všech obvodů.

4 Praktická realizace

V předešlé kapitole byly podrobněji rozebrány jednotlivé navrhované funkční celky generátoru a jeho vlastnosti. Vše na teoretické úrovni. Nyní bude popsáno propojení všech navrhovaných částí a praktické ověření jejich vzájemné funkčnosti.

4.1 Programování procesoru

Jádrem generátoru je mikroprocesor PICAXE 18M2 běží na něm program řídící celý systém. V programu běží paralelně dvě smyčky s kódem. Hlavní smyčka obstarává indikaci stavu zařízení, přítomnost stisku multifunkčního tlačítka a podle nastavené frekvence a střídý vypočítává parametry pro příkaz PWMOUT, který běží na pozadí programu a generuje signál na výstupním pinu. Druhá smyčka hlídá protékající proud výkonovým stupněm a při překročení kritické hodnoty vypne generování signálu na výstup.

Problémem při programování bylo, že nejmenší možná frekvence PWM signálu generována příkazem PWMOUT, byla 62 Hz. Ale nejnižší požadovaná frekvence generátoru je 5 Hz. Tento značný problém byl vyřešen softwarovou cestou, kdy při požadované frekvenci mezi 5 Hz – 61 Hz, se nevyužívalo příkazu PWMOUT, ale v podprogramu se vypočítávají časy pro dobu trvání výstupu v logické 1 a logické 0, tak aby bylo dosaženo požadované frekvence a střídý signálu. Při tomto bylo využito příkazu PULSOUT.

Tvar příkazu *PWMOUT pin, period, duty cycles*.

Pin přiřazuje fyzický výstup na, kterém bude generovaný signál.

Period je proměnná v rozsahu 0 – 255 a určuje délku periody.

Duty cycles je proměnná v rozsahu 0 – 1023 a určuje střidu signálu.

Ještě se může přidávat příkaz PWMDIV, který dělí frekvenci 4, 16 a 64 podle toho jaké frekvence signálu chceme dosáhnout.

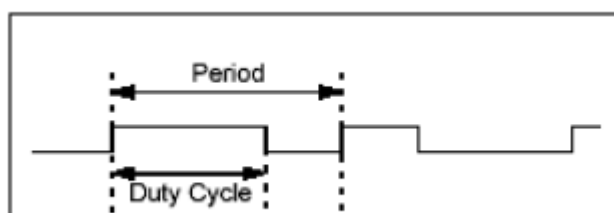
Nastavení příkazu pro frekvenci 100 Hz a střídu 50 %.

PWMOUT PWMDIV64 PIN, 155, 312

Ukázka výpočtu parametrů v rozsahu frekvencí 62 – 243 Hz.

$$period = \frac{15625}{požadovaná\ frekvence\ v\ Hz} - 1$$

$$duty\ cycles = [(period \cdot 64) + 1] \cdot \frac{střída\ v\ \%}{100}$$



Obr. 21 PWM signál parametry [3]

4.2 Obvodová realizace

Obvod byl navržen v programu Eagle 6.4.0 light. Všechny zvolené součástky byly vybrány z běžně dostupných, z důvodu ceny a dostupnosti při případném poškození.

Celý odvod se skládá z těchto součástí.

- Ochrana proti přepólování
- Stabilizátor napětí +5 V
- Mikrokontrolér
- Nastavování střídy a frekvence
- Indikace
- Ovládací tlačítko
- Výkonový stupeň
- Ochrana výkonového stupně

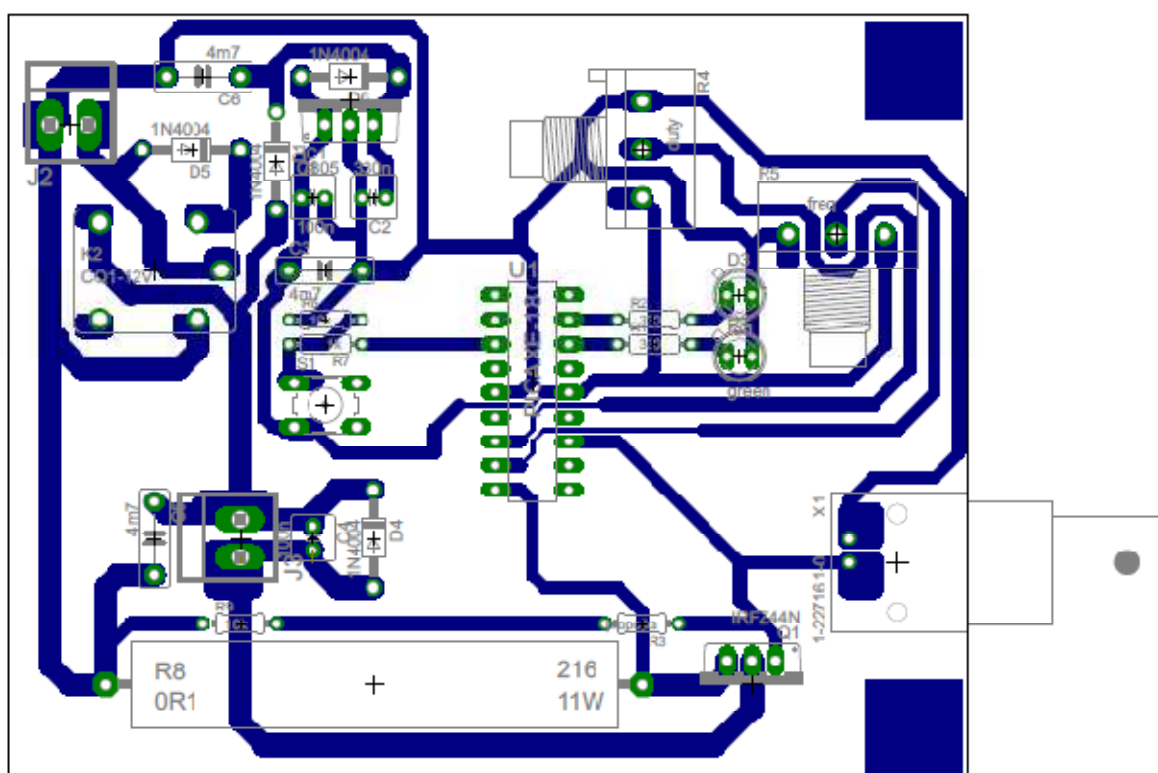
V realizovaném vzorku se využilo stejných komponent, jak bylo navrhnuo. Pouze u výkonového stupně se nevyužilo galvanického oddělení, ale přímého propojení mikrontoléru s výkonovým tranzistorem.

Pokud by měl být generátor použit pro spínání větších výkonů, musely by se vyměnit elektrolytické kondenzátory o kapacitě 4,7 mF za pulsní kondenzátory vyšší kapacity, jinak by docházelo k velkému zvlnění napětí při spínání do zátěže. Toto zvlnění by mělo za následek výpadky mikrokontroléru a tím pádem i nepoužitelný výstupní signál.

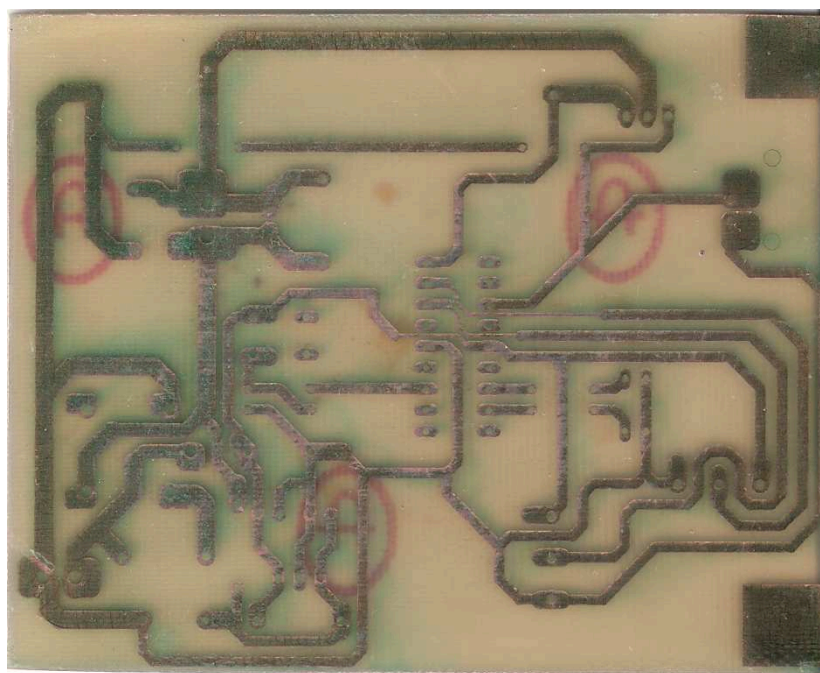
4.3 Výroba DPS

Celá elektronika generátoru je navržena v programu Eagle 6.4.0 light, včetně DPS. Pro co nejjednodušší výrobu a montáž byl navržený plošný spoj realizován jako jednovrstvý se součástkami pro klasickou montáž. Vše je umístěno na jedné desce z důvodu co nejmenší zástavby do ochranné krabice.

Plošný spoj byl vyroben fotocelou, svépomocí ve školních podmínkách. Po navržnutí kompletního zapojení generátoru v programu Eagle byla vytvořena v tomto prostředí i deska plošných spojů. Vhodným nastavením byla DPS vytisknuta na průhlednou folii určenou pro laserový tisk.



došlo k vyvolání desky v roztoku chloridu sodného. A vyleptání nevodivých ploch v koncentrovaném roztoku chloridu železitého.



Obr. 23 Vyrobená DPS

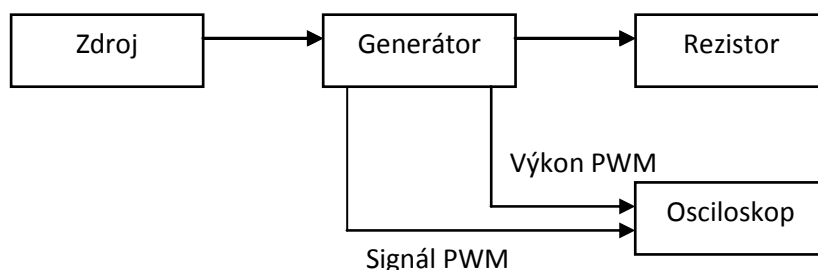
Následovalo mechanické opracování desky na požadovaný rozměr a navrtání děr malou ruční vrtačkou. Osazení a pájení součástek proběhlo také ručně.



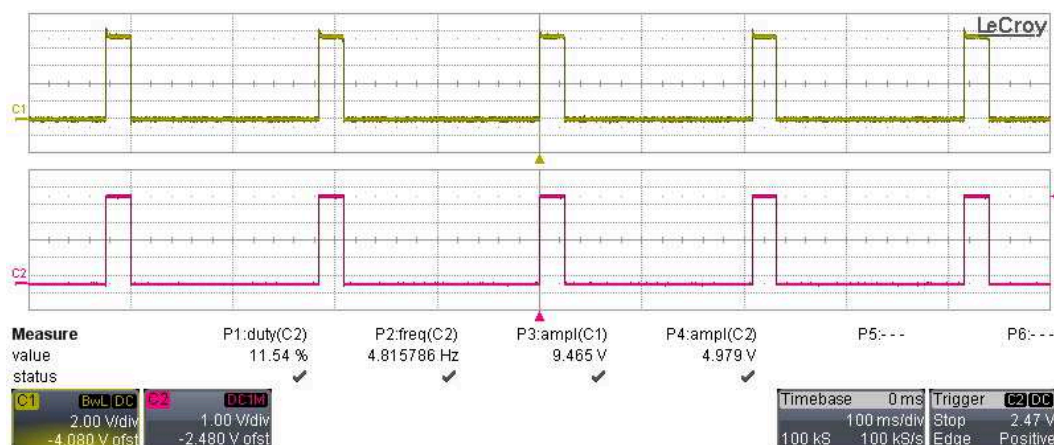
Obr. 24 Osazená DPS

4.4 Oživení generátoru

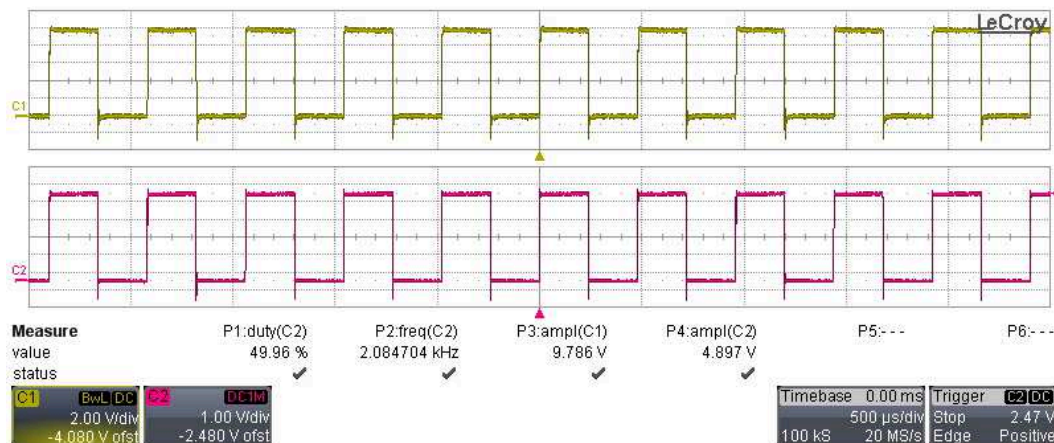
Po osazení celé DPS následovalo oživení. Obvod byl napájen z laboratorního zdroje 12 V/40 A, jako zátěž byl použit rezistor 1 Ω /20 W. Výkonový i signálový výstup byl připojen k osciloskopu. S využitím osciloskopu se sledovala kvalita PWM signálu na obou výstupech.



Obr. 25 Blokové schéma oživení generátoru



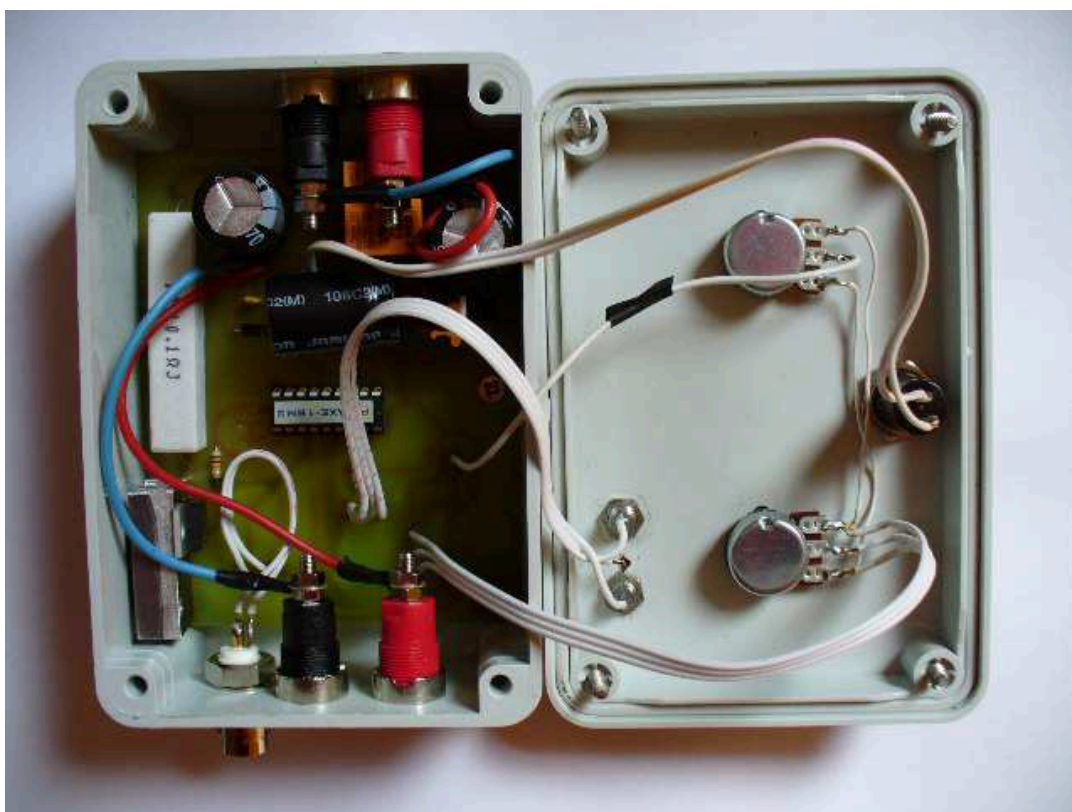
Obr. 26 Průběh signálu (C2) a řídicího napětí (C1) při minimální frekvenci PWM



Obr. 27 Průběh signálu (C2) a řídicího napětí (C1) při maximální frekvenci PWM

4.5 Konstrukční provedení

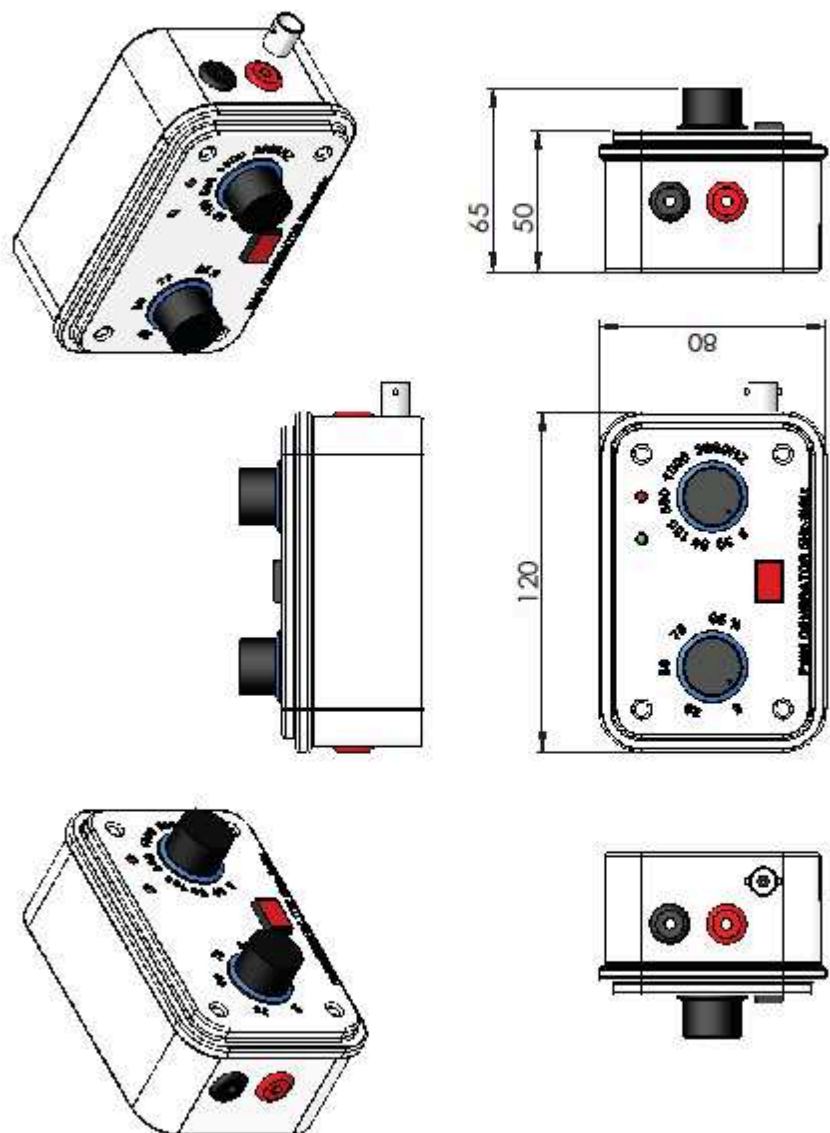
Všechny komponenty generátoru jsou zapouzdřeny v krabici GW 44 205. O rozměrech 120 x 80 x 50mm a krytím IP 56. Na víku krabice jsou umístěny ovládací a indikační prvky. V pravém horním rohu jsou indikační diody, které jsou uloženy v diodových průchodkách. K víku jsou přišroubovány potenciometry a na jejich osy přidělán přístrojový knoflík. Pod potenciometry je umístěno ovládací tlačítko.



Obr. 28 Pohled na otevřený generátor

Zdíčky pro vstupní napájecí napětí jsou umístěny, při pohledu z vrchu na levém boku. Jedná se o bezpečnostní banánkové konektory určené pro montáž na panel, maximální proud konektorem je 24 A při 60 V. Tyto zdíčky jsou použity i pro výkonový výstup, který je umístěn na protější straně boxu. U výstupních zdírek je i signálový výstup, je určen pro připojení osciloskopu. Na jeho výstupu je signál identický s výstupním signálem pouze jeho amplituda je 5 voltů. Pro tento signálový konektor je použita BCN zdíčka.

V další kapitole jsou uvedeny praktické měření s generátorem na vybraných akčních členech. Měření jsou zaměřena na převodní charakteristiky ventilů, které jinak nejsme schopni změřit.



Obr. 29 Pohledy na model vyrobeného generátoru s rozměry

5 Experimentální ověření

Možnosti využití generátoru při laboratorních měřeních jsou široké. Dá se použít všude tam, kde potřebujeme plynulou změnu střední hodnoty napětí v rozsahu napájecího napětí 8 – 15 V. Jedná se například o plynulou změnu otáček stejnosměrného motoru, regulace jasu žárovky. Ale hlavní důvod konstrukce generátoru je, aby sloužil jako budič pro pulsně řízené akční členy v automobilu.

Typy akčních členů, které mohou být takto ovládány.

- Proporcionální ventil, ovládající podtlak pro řízení geometrie turbodmychadla
- Volnoběžný ventil
- ERG ventil
- Proporcionální ventil v topném systému
- Všechny stejnosměrné motory v autě
- Servomotory
- Vyhřívání lambda sondy
- Proporcionální ventil nastavující polohu vačkové hřídele (časování ventilů)
- Zapalovací moduly (pouze v omezené míře)
- Vstřikovací ventily (pouze v omezené míře)

Nyní budou ukázány postupy měření a zapojení na vybraných typech akčních členů.

5.1 Ověření na proporcionálním ventilu pro ovládání turbodmychadla

Ventil byl měřen na automobilu Hyundai i30 1,6 crdi, 96kW, rok výroby 2012. Je zapojen mezi podtlakovou vývěvou na vačkové hřídeli a mechanismem nastavující geometrii lopatek turbodmychadla. Mění hodnotu podtlaku, vstupující do turbodmychadla, v závislosti na střídě budícího signálu z řídicí jednotky motoru. Ta se mění, podle zatížení, polohy plynového pedálu, otáček, teploty a mnoha dalších faktorů ovlivňující chod motoru.

Elektrické parametry ventilu.

Indukčnost 18,66 mH

Ohmický odpor 19,2 Ω

Amplituda napájecího napětí 12 V

Frekvence napájecího napětí přibližně 300 Hz



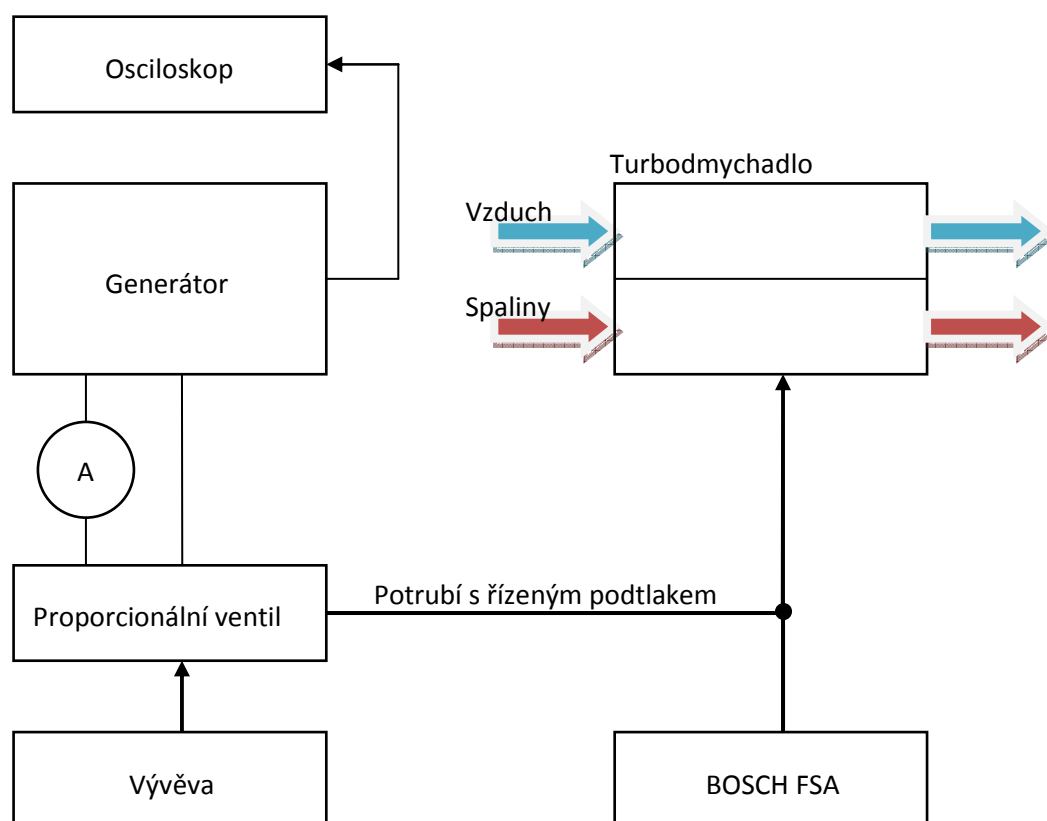
Obr. 30 Umístění ventilu na automobilu

5.1.1 Zapojení měření

Během měření byl generátor zapojen takto, jako napájení byla využita palubní síť automobilu (generátor byl připojen pomocí krokosvorek k baterii vozidla). Původní napájení ventilu, se odpojilo a namísto něj se přivedlo napájení z generátoru. Mezi generátor a ventil se ještě připojil ampérmetr. Signálový výstup byl přiveden do osciloskopu, kde se měřila frekvence a střída generovaného signálu. Na pneumatický výstup ventilu, se pomocí t-kusu připojila hadice od Motorsteru FSA, sloužící ke měření podtlaku v potrubí.



Obr. 31 Ukázka z měření na automobilu Hyundai i30 1,6crdi



Obr. 32 Zapojení měření proporcionálního ventilu

5.1.2 Průběh měření

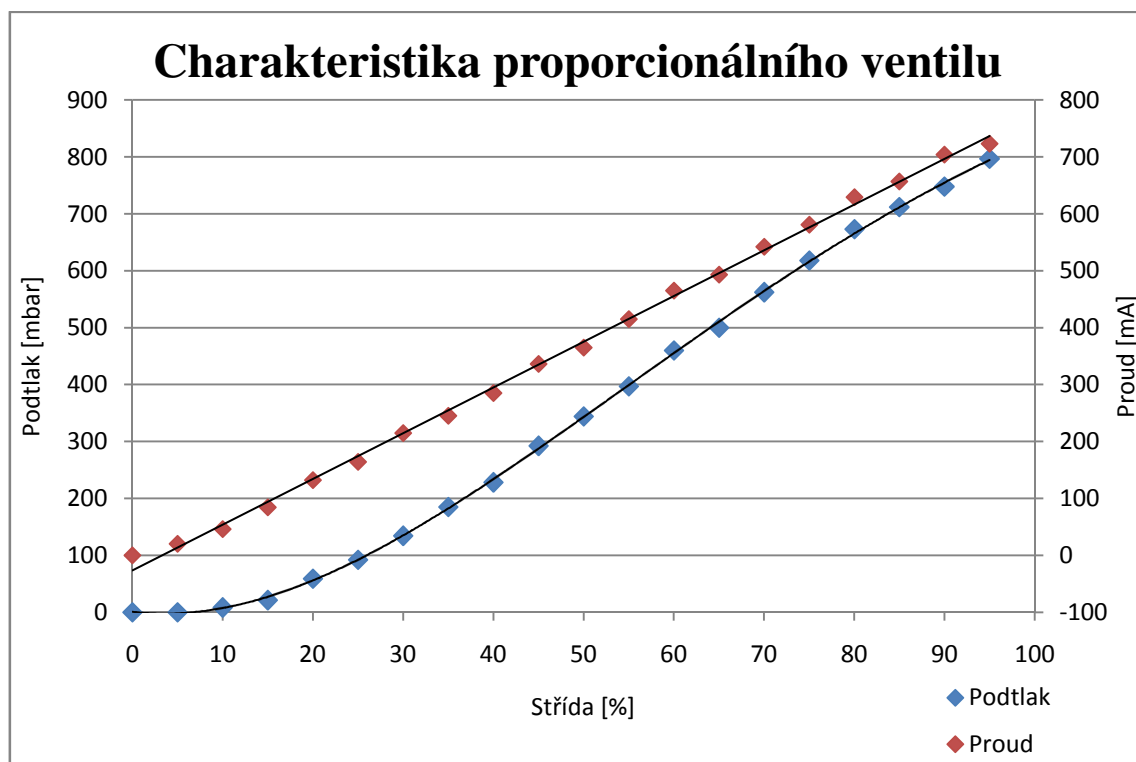
Před měřením muselo být vše správně nastaveno. V Motortesteru FSA se ještě před připojením hadice k potrubí, se musí kalibrovat referenční tlak okolí, jinak by měření nebylo vypovídající. Na generátoru byla pomocí osciloskopu nastavena frekvence signálu 300 Hz.

Poté byla měněna střída signálu v rozsahu 5 – 95%. Střída se odečítala na osciloskopu. V průběhu měření byla zaznamenávaná hodnota podtlaku v potrubí a proudu ventilem v závislosti na střídě signálu. Vše probíhalo za nastartovaného motoru.

5.1.3 Výsledky měření

Z naměřených hodnot byl vypracován graf, kde je vidět převodní charakteristika ventilu střídy na podtlak a proud odebíraný v závislosti na střídě. Průběh podtlaku je lineární, protože se jedná o proporcionální ventil. Toto měření s využitím generátoru, je daleko jednodušší, než kdyby byl ventil normálně zapojen. Změny střídy při ovládání

ventilu řídící jednotkou motoru jsou velmi rychlé a krátkodobé, velkou roli na tom hraje zatížení motoru a otáčky.



Obr. 33 Graf z naměřených dat na proporcionálním ventilu

Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Střída [%]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Podtlak [mbar]	0	0	8	21	59	92	134	185	228	292
Proud [mA]	0	20	46	84	132	164	215	245	285	336

Tabulka 1 Data z měření prop. ventilu 1

Měření č.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Střída [%]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Podtlak [mbar]	344	397	460	500	562	618	673	712	748	797
Proud [mA]	365	415	465	493	542	581	629	657	704	723

Tabulka 2 Data z měření prop. ventilu 2

5.2 Ověření na volnoběžném ventilu

Měření volnoběžného ventilu probíhalo na automobilu Ford Fiesta IV 1,3i, 37kW, rok výroby 1998, typ motoru JJA. Ventil slouží jako nastavovací prvek volnoběžných otáček řízen je signálem z řídicí jednotky motoru. Zapojen je paralelně ke škrtící klapce. Mění množství vzduchu jdoucího do sání motoru při zavřené škrtící klapce, podle toho jak je motor zatěžován, aby otáčky byly konstantní a nedošlo k zastavení motoru.

Elektrické parametry ventilu.

Indukčnost 22,4 mH

Ohmický odpor 14,67 Ω

Amplituda napájecího napětí 12 V

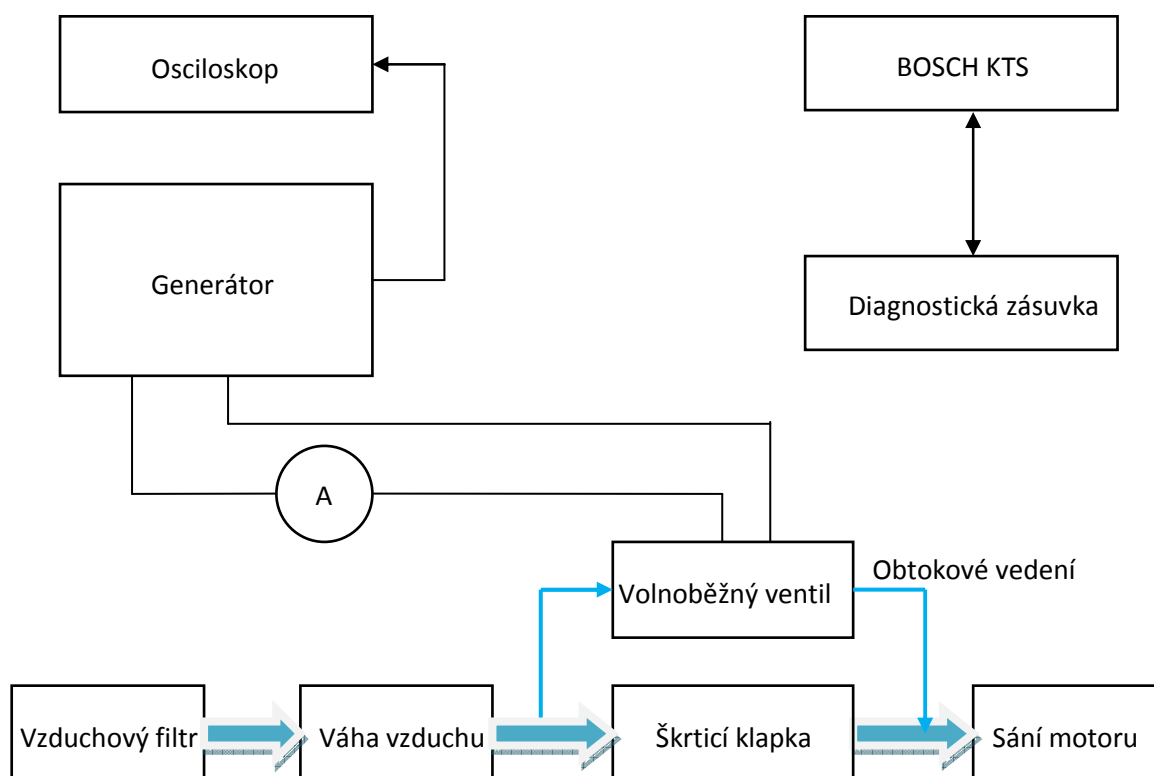
Frekvence napájecího napětí přibližně 180 Hz



Obr. 34 Umístění ventilu na automobilu

5.2.1 Zapojení měření volnoběžného ventilu

Během měření byl generátor zapojen takto, jako napájení byla využita palubní síť automobilu (generátor byl připojen pomocí krokosvorek k baterii vozidla). Původní napájení ventilu, se odpojilo a namísto něj se přivedlo napájení z generátoru. Mezi generátor a ventil se ještě připojil ampérmetr. Signálový výstup byl přiveden do osciloskopu, kde se měřila frekvence a střída generovaného signálu. K vozu byla připojena i sériová diagnostika BOSCH KTS, pomocí níž se zjišťovaly aktuální otáčky motoru.



Obr. 35 Zapojení měření volnoběžného ventilu

5.2.2 Průběh měření

Před zahájením měření muselo být vše zapojeno a nastaveno. Na generátoru byla nastavena frekvence 180 Hz a střída při startu motoru na 50 %, následně byla snížena na 30 %. Během měření se střída nesměla snížit pod 30 %, jinak došlo k zastavení motoru z důvodu nedostatku vzduchu pro jeho chod.

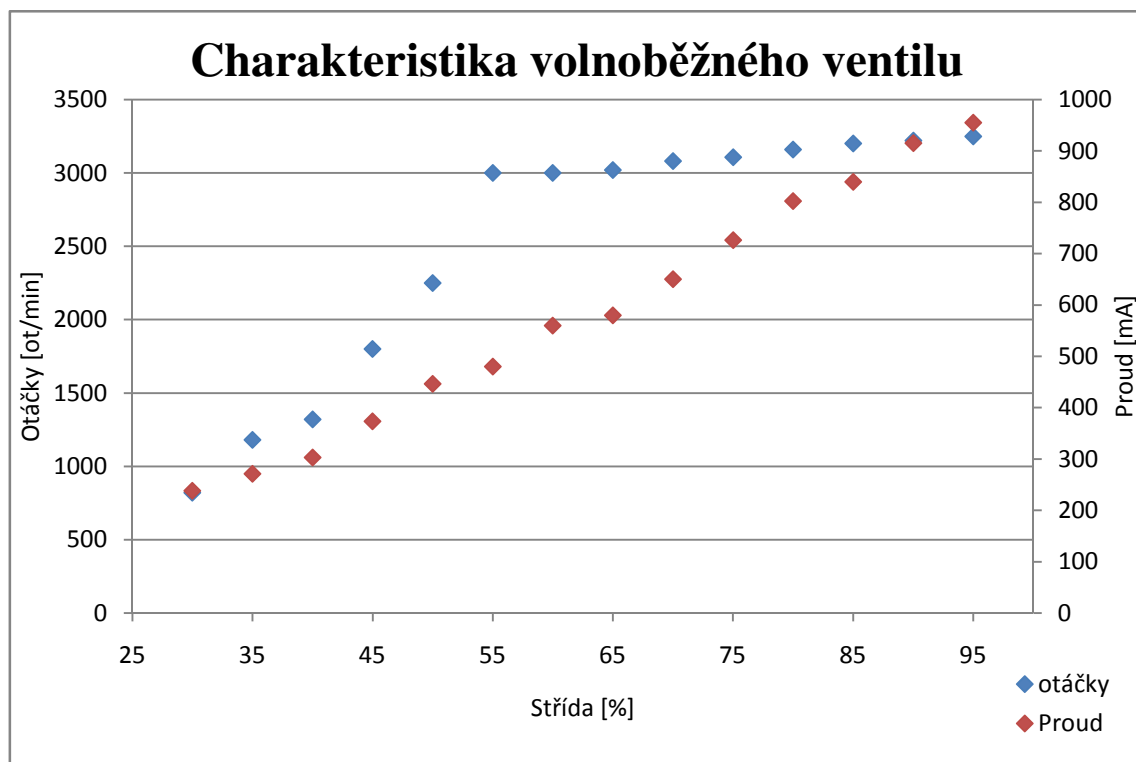
Po nastartování se vozidlo spojilo se sériovou diagnostikou a jako měřená veličina se nastavily otáčky motoru. Střída se měnila v rozsahu 30 – 95 % s krokem po 5-ti %. Otáčky v závislosti na střídě signálu se zaznamenávaly do tabulky společně s proudem protékajícím ventilem.

5.2.3 Výsledky měření

Z naměřených hodnot byl vypracován graf s převodní charakteristikou ventilu střídý na otáčky, se zaznamenanými proudy v závislosti na střídě.

V grafu je zajímavé, že v počátcích i při velmi malé změně střídý dochází k velkému nárůstu otáček. Ale jakmile je dosaženo hodnoty 3000 ot/min už otáčky výrazně nerostou.

Je to způsobeno tím, že u nezatíženého motoru k prudkému nárůstu otáček stačí poměrně malé zvětšení nasávaného vzduchu. A zpomalení růstu otáček u hodnoty 3000 ot/min je dané průřezem obtokového potrubí. I když docházelo k většímu otevírání ventilu tak, ale průchod vzduchu do saní limitovalo potrubí před a za ventilem.



Obr. 36 Graf z naměřených dat na volnoběžném ventilu

Měření č.	1	2	3	4	5	6	7
n [ot/min]	820	1180	1320	1800	2250	3000	3000
Střída [%]	30	35	40	45	50	55	60
Proud [mA]	238	271	303	373	446	480	560

Tabulka 3 Data z měření volnoběžného ventilu 1

Měření č.	8	9	10	11	12	13	14
n [ot/min]	3020	3080	3108	3160	3200	3220	3250
Střída [%]	65	70	75	80	85	90	95
Proud [mA]	580	650	726	802	840	915	955

Tabulka 4 Data z měření volnoběžného ventilu 2

6 Závěr

V bakalářské práci byly splněny všechny body zadání. Od teoretického návrhu generátoru po jeho realizaci a ověření na vozidlech.

V úvodních kapitolách je teoreticky popsána koncepce elektronicky řízeného spalovacího motoru, z důvodu uvedení do problematiky řízení akčních členů a popsání nejdůležitějších prvků elektronického řízení.

Návrhu parametrů generátoru předcházela spousta měření na vozidlech z důvodů zjištění nejčastěji používaných frekvencí a stříd řídicího napětí. Z těchto měření vyšel jako vhodný frekvenční rozsah generátoru 5 – 2000 Hz a nastavování stříd v rozsahu 5 – 95 %. Amplituda signálu je rovna napětí palubní sítě automobilu.

Po sestavení a oživení generátoru se podařilo dosáhnout navržených parametrů řídicího napětí. Vše bylo proměřeno s využitím osciloskopu a multimetru. Byl proveden i zátěžový test do výkonového odporu o hodnotě 1 Ω .

Během zhotovování a ověřování parametrů generátoru se vyskytla celá řada problémů, které ale byly s postupem času odstraněny. Rozmístění ovládacích prvků, napájecích a výstupních konektorů bylo několikrát změněno a po zkušenostech z měření s generátorem umístěno na uživatelsky optimální pozice pro jednoduchost ovládání. Na konci práce stojí hotový funkční generátor ověřený spoustou měření.

K práci byla vyhotovena i laboratorní úloha, která využívá vyrobeného generátoru. Součástí práce je i návod na obsluhu generátoru, který obsahuje důležité informace nezbytné pro práci s generátorem.

Seznam literatury

- [1] Vlk František: *Automobilová elektronika 3*, Systémy řízení motoru a převodů, 1. Vydání, Brno 2006
- [2] BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996 – 2009
- [3] Picaxe manual 1, 2, 3
- [4] http://www.autospeed.com/cms/A_1904/article.html, [cit. 20.4.2013]
- [5] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfz44n.pdf>, [cit. 20.4.2013]

Seznam příloh

- A. Vzorová laboratorní úloha
- B. Návod na obsluhu generátoru
- C. Schéma zapojení generátoru